

Double impact



De toutes les découvertes récentes en matière d'entraînement, le SITH est de loin la plus étonnante et la plus prometteuse. Ces initiales désignent l'association de sprints lors d'une séance d'interval training (SIT) et l'hypoxie (H).

Geoffrey Mutai (en rouge dans le groupe de coureurs kényans) et Kilian Jornet (ci-contre) n'ont pas grand-chose en commun sinon le talent et leur amour de la montagne.

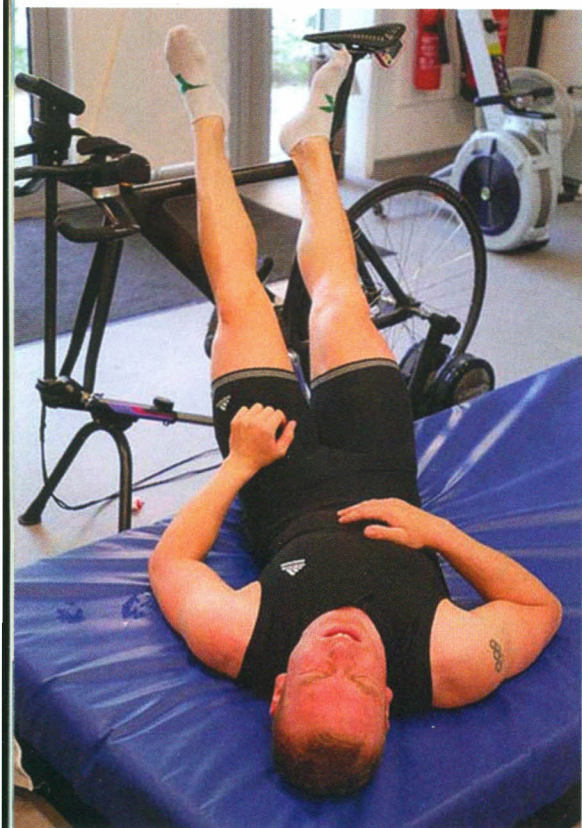


Lorsqu'on associe deux traitements, il arrive que le résultat corresponde à la somme de leurs actions respectives. C'est même la situation la plus fréquente. Plus rarement, on constate un phénomène d'inhibition et donc une finalité moindre que celle à laquelle on s'attendait. Parfois, c'est l'inverse. Les deux traitements s'amplifient l'un l'autre et les conséquences dépassent la somme de leurs effets pris individuellement. Exemple? Les premières nouvelles vraiment positives concernant la lutte contre le Sida sont tombées en 1996 lorsque des médecins prirent l'initiative d'associer les traitements

Hypoxie: voulez-vous coucher avec elle?

En matière d'entraînement en altitude, on a quasiment tout essayé. Chronologiquement, il y eut d'abord le «live high-train high» où l'on recommandait de vivre et de s'entraîner en montagne comme le font les athlètes en stage à Iten au Kenya, à Ifrane au Maroc, à Font-Romeu en France, à Saint-Moritz en Suisse ou dans toutes ces stations en altitude. Idéalement, on recommande de monter entre 2000 et 2500 mètres. Au cours de ces stages, on cherche essentiellement à augmenter la capacité du sang à transporter l'oxygène en stimulant l'érythropoïèse, c'est-à-dire la formation de nouveaux globules rouges. Le but est donc hématologique. Globalement, ce type de séjour donne de bons résultats chez les athlètes d'endurance. Mais il pose tout de même un petit problème. L'air raréfié implique de devoir réduire les intensités d'entraînements ce qui, à la longue, peut se révéler préjudiciable aux adaptations musculaires. Imaginez que pendant trois semaines, un coureur de demi-fond s'entraîne à une vitesse de 17 km/h. A son retour en plaine, il risque de ne pas retrouver facilement son rythme de course en compétition, c'est-à-dire 19 km/h. Pour remédier à cela, certains entraîneurs préconisent donc d'associer la vie en altitude

avec des séances d'entraînement en plaine. Cette technique connue sous le nom de «live high-train low» permet de concilier les adaptations au niveau hématologique et la sauvegarde des bons patterns gestuels, tout en préservant une réponse ventilatoire optimale et en améliorant le pouvoir tampon du muscle, c'est-à-dire sa capacité à encaisser de fortes poussées acides. On gagne sur tous les fronts! Evidemment, ces recommandations sont difficiles à mettre en pratique. A moins de loger aux abords directs d'un terminal téléphérique et de trouver une piste d'athlétisme au pied de la ligne, on perd des heures en déplacements. Pensez donc! Il faut descendre et remonter de la vallée au moins une fois par jour. En voiture, il faut aussi avoir le cœur solidement accroché pour supporter tous ces lacets. Nauséeux s'abstenir! Du coup, beaucoup d'athlètes optent pour l'alternative ingénieuse qui consiste à faire venir la montagne à domicile, un peu comme Alphonse Allais lorsqu'il proposait de construire des villes à la campagne parce que l'air y est plus pur. De nombreux appareillages permettent en effet de recréer artificiellement cette plus grande rareté de l'oxygène qui caractérise la prise d'altitude. Les adeptes du «live high-train low» restent alors sous leur tente ou dans leur chambre hypoxique pour toutes les périodes de repos et n'en sortent que pour s'entraîner tout à fait normalement.



Le pistard britannique Chris Hoy s'entraîne dans une chambre sans air. Crevant!

antiviraux dans le cadre des premières trithérapies, parvenant ainsi enfin à sauver les malades. Dans un contexte beaucoup moins tragique, on se trouve face au même cas de figure en physiologie du sport. Des chercheurs ont eu l'audace de coupler les principes de l'entraînement en altitude à ceux des séances à très hautes intensités, donnant ainsi naissance à un nouveau type de préparation que l'on propose de désigner par les initiales SIT (Sprint Interval Training) auxquelles on ajoute un H pour Hypoxie.



«Live high, train low»: cela fait beaucoup de route entre les deux!



QUELLE PRESSION DANS LES BARS

S'entraîner à la montagne ou dans une chambre hypoxique, est-ce exactement la même chose? Globalement, la réponse est oui. Cependant, il existe une différence majeure entre ces deux types d'environnement. Le premier est hypobare, le second, normobare. Voilà qui nécessite probablement de devoir réveiller quelques notions héritées de ses anciens cours de physique. La loi de Dalton, vous vous rappelez? Et la loi des pressions partielles? Elle dit en somme que la pression exercée par un gaz au sein d'un mélange gazeux est égale à la fraction de ce gaz multipliée par la pression totale du mélange gazeux. Si on applique cette loi au cas qui nous intéresse, la pression partielle en oxygène que l'on inspire (P_{iO_2}) est égale à la fraction d'oxygène dans l'air inspiré (F_{iO_2}) multipliée par la pression atmosphérique (P_{atm}): $P_{iO_2} = F_{iO_2} \times P_{atm}$. L'hypoxie se définit comme toute situation dans laquelle la P_{iO_2} est inférieure à 160mmHg qui est la valeur de la P_{iO_2} au niveau de la mer ($F_{iO_2} = 0.2093$ et $P_{atm} = 760$ mmHg, d'où $0.2093 \times 760 = \sim 160$ mmHg) (cfr table ci-dessous). Plus on monte en altitude, plus la pression atmosphérique diminue et donc le résultat de notre calcul diminue également. On parle d'hypoxie hypobare en référence à la diminution de cette pression atmosphérique. A ne pas confondre avec l'hypoxie normobare où la pression atmosphérique reste constante et où, à l'inverse, seul le premier facteur de notre équation (F_{iO_2}) est réduit. C'est le principe des chambres hypoxiques normobares où l'on filtre l'air de manière à diminuer la fraction d'oxygène (F_{iO_2}). In fine, le résultat est le

même, la P_{iO_2} diminue, mais la façon d'y arriver diffère quelque peu. Jusqu'à présent, tout le monde était d'accord pour dire que la diminution de la P_{iO_2} en hypoxie déterminait les adaptations physiologiques. Dès lors, toute combinaison de réduction de la F_{iO_2} et/ou diminution de la pression atmosphérique donnant la même P_{iO_2} devait produire les mêmes réponses physiologiques. Or, il semble de plus en plus avéré que les réponses induites au niveau de la ventilation, de l'équilibre des fluides, du mal aigu des montagnes, du métabolisme de l'oxyde d'azote et de la performance sportive diffèrent quelque peu entre ces deux conditions environnementales. De manière générale, on peut affirmer actuellement que l'hypoxie hypobare est une condition environnementale plus sévère que l'hypoxie normobare, induisant des réponses physiologiques plus importantes, sans qu'on n'en comprenne réellement les raisons d'une telle différence.

Hypoxie hypobare vs normobare

$P_{iO_2} = F_{iO_2} \times P_{atm}$	P_{iO_2}	F_{iO_2}	P_{atm}
Niveau mer	160mmHg	0.2093	760mmHg
Hypoxie hypobare	<160mmHg	0.2093	<760mmHg
Hypoxie normobare	<160mmHg	<0.2093	760mmHg

A fond les caissons!

Nous avons vu les avantages respectifs du «live high-train high» (vivre et s'entraîner en altitude), ceux du «live high-train low» (vivre en altitude, s'entraîner en plaine). Restait évidemment à explorer les avantages de la troisième formule, le «live low-train high» (vivre en plaine, s'entraîner en altitude). Ici, le but recherché n'est plus de nature hématologique. De fait, ce type d'entraînement



Précédemment, on se servait surtout des tentes hypoxiques en phase de récupération (voir ci-dessus). A présent, on les utilise aussi pour s'entraîner.

PFK: l'enzyme qui monte, qui monte

Dans le cadre d'une expérience très récente, trois groupes de sportifs ont été testés avant et à l'issue d'une période de six semaines (2). Les premiers étaient laissés au repos et servaient de groupe contrôle. Les sujets du deuxième groupe s'entraînaient sur vélo fixe à des intensités élevées en normoxie (SIT). Quant au troisième groupe, il suivait le même programme que le deuxième, mais dans une chambre pouvant créer une atmosphère hypoxique correspondant à une altitude simulée d'environ 3000 mètres (SITH). Pour les groupes 2 et 3, chaque séance commençait par un échauffement de 10 minutes à 100 watts, suivi d'une série de sprints de 30 secondes, séparés par une récupération de 4 minutes 30 secondes à une intensité de 50 watts. Ensuite, les sujets devaient effectuer un retour au calme de 15 minutes à 100 watts. Le programme prévoyait trois séances de ce type par semaine, soit 18 séances en tout. Quant au nombre de sprints, il passait de 4 lors de la première semaine à 9 au cours de la sixième et dernière semaine. Avant et après ce protocole, des biopsies musculaires avaient été prévues pour mesurer d'éventuelles différences. On ne fut pas déçu! L'activité d'une enzyme appelée phosphofructokinase (PFK) grimpait en flèche à l'issue de ce programme. Par rapport au groupe contrôle, son activité passait ainsi de +57% chez ceux qui s'étaient entraînés en hypoxie contre +19% seulement dans le groupe en

n'augmente pas le taux de globules rouges. L'exposition à l'hypoxie est trop courte pour stimuler ces filières. En revanche, il peut induire des adaptations très intéressantes au niveau musculaire. Autre avantage, il se révèle assez facile à mettre en place grâce au développement des appareils délivrant un air appauvri en oxygène par l'intermédiaire de bonbonnes reliées à un masque ou, plus confortablement, en s'installant dans des chambres d'entraînement simulant l'altitude. Depuis quelques années, on observe que ce genre d'installation se généralise dans les centres d'entraînement. Quel type d'effort doit-on choisir? Chacun fait selon ses convenances. Certains se lancent dans de longues séances d'endurance. D'autres optent pour des programmes plus courts et plus intenses, ce qui présente aussi l'avantage de limiter la durée de location des

chambres. Une méthode semble même particulièrement performante. Elle préconise d'associer des efforts très durs sur des intervalles courts de 10 à 30 secondes entrecoupés de périodes de récupération de 4 à 5 minutes. On répète cela 5 à 6 fois. A raison de deux ou trois séances par semaine, on peut en tirer d'énormes bienfaits. Est-ce une surprise? Pas forcément! On savait déjà que ces entraînements SIT (sprint par interval training) portaient leurs fruits en normoxie, c'est-à-dire au niveau de la mer (1). On n'avait pas encore essayé en hypoxie. Mais les résultats des premières expériences sont encourageants avec une amélioration des paramètres qui semble ne pas résulter de la simple addition des deux types de sollicitations, mais dépendre plutôt d'un processus d'exacerbation réciproque selon la formule: altitude + intensité = mélange détonnant!

normoxie. Or cette phosphofructokinase est une enzyme-clé de la glycolyse. Cela signifie que lorsque son activité augmente, toute la chaîne s'accélère. On peut donc brûler plus de sucre et produire plus d'énergie. Les sportifs en tireront logiquement profit dans le cadre d'exercices courts et intenses du type de ceux qui constituaient les séances. Mais pas seulement! Il semble en effet que ces adaptations soient également bénéfiques pour les performances en endurance et qu'elles améliorent même le métabolisme aérobie. Comment est-ce possible? De prime abord, on pourrait se dire que chaque effort est trop court pour solliciter la filière aérobie. Mais il faut tenir compte de leur nombre et des durées réduites de récupération entre les sprints. Lors des dernières

exécutions, les filières anaérobies sont un peu émoussées et ne peuvent plus travailler de manière optimale. Elles laissent alors les filières aérobies prendre le relais, qui finissent par se renforcer. Les tests à l'issue de l'expérience ont ainsi révélé un net recul du

seuil lactate dans le groupe entraîné en hypoxie, ce qui peut être interprété comme une amélioration du métabolisme aérobie puisque pour une même concentration sous-maximale en lactate, le travail réalisé était plus important.

L'HIF JUSTIFIE LES MOYENS

La parution des résultats des premières expériences eut évidemment pour effet d'intriguer beaucoup le monde scientifique, tant le mariage des hautes intensités d'effort et de l'hypoxie paraissait efficace. Reste à lui donner du sens du point de vue théorique. En science, il ne suffit pas de découvrir quelque chose. Il faut aussi lui associer une explication rationnelle. Dans ce cas-ci, il semble que tout se joue au niveau d'une molécule appelée HIF-1 pour *hypoxia-inducible factor-1*. Comme son nom l'indique, cette molécule est activée lorsque l'oxygène vient à manquer au niveau cellulaire. Une activation de HIF-1 est associée à une augmentation de la densité mitochondriale. En clair, la cellule musculaire construit davantage de ces précieuses petites centrales qui lui permettent de mieux répondre aux exigences énergétiques. Elle produit aussi plus d'enzymes glycolytiques (comme la fameuse phosphofructokinase) afin de mieux brûler les carburants de réserve. *Last but not least*, les capillaires sanguins se multiplient sous l'effet d'une sécrétion accrue d'une hormone appelée VEGF (*vascular endothelial growth factor*). Bref le muscle est mieux irrigué. Tous ces avantages comptent évidemment lorsqu'on doit produire un effort court et intense. Mais pas seulement. Les athlètes d'endurance devraient pouvoir en tirer profit eux aussi.



Le XV anglais cherche la forme à Ti-Tignes.

Vade retro lactate

Lors de cette expérience, les analyses biologiques étaient complétées par deux tests d'effort, soit une mesure de VO_2 max en laboratoire et une épreuve de terrain qui consistait à faire le plus de kilomètres possible dans une épreuve contre-la-montre de 10 minutes. Allait-on retrouver des différences aussi marquées entre les deux groupes que pour la phosphofructokinase? Non! L'amélioration du métabolisme aérobie suite au SIT en hypoxie ne s'est traduite ni par une amélioration de la consommation maximale d'oxygène ni par une augmentation du travail fourni au cours du test de 10 minutes. Il semble donc que les filières anaérobies soient positivement modifiées par le SIT en hypoxie et que l'effet sur les filières aérobie soit moins flagrant.

glycolytique en hypoxie par rapport au même entraînement au niveau de la mer. De plus, dans cette étude, la résistance à la fatigue a été testée lors de sprints répétés. Alors que la puissance développée lors des sprints était améliorée de manière similaire entre les groupes hypoxie et normoxie, le nombre de sprints pouvant être effectués à haute puissance était augmenté uniquement dans le groupe hypoxie. L'entraînement en hypoxie permettait donc très clairement de reculer le seuil de fatigue, ce qui n'était pas le cas pour le groupe s'étant entraîné en normoxie. Tout comme dans la première étude, les résultats aux tests de performance visant à tester les filières aérobie n'étaient modifiés dans aucun des groupes. Précisons que ces tests ne duraient que quelques minutes et visaient donc uniquement à mesurer la puissance maximale du métabo-

lisme aérobie. Au vu des résultats de ces deux études, il semblerait logique de préconiser ce genre d'entraînement aux joueurs de sports collectifs qui sont amenés à effectuer des séries de sprints répétés entrecoupées de périodes de récupération plus ou moins longues en fonction de la discipline. Cependant, bien que le SIT en hypoxie ne semble pas apporter de plus-value au niveau des tests maximaux d'endurance, il n'est pas exclu que les athlètes d'endurance ne puissent pas bénéficier de ce type d'entraînement. En effet, le recul du seuil lactate est une donnée importante dans de nombreuses disciplines dont la durée est d'au moins 30 minutes. Or dans les deux études, aucun test ne durait aussi longtemps. Ce sera donc une des prochaines hypothèses à explorer. On n'a pas fini d'entendre parler du SITH!

Louise Deldicque (KU Leuven)

et Marc Francaux

(Université Catholique de Louvain)

Références

- (1) Gibala and McGee. *Metabolic Adaptations to Short-term High-Intensity Interval Training: A Little Pain for a Lot of Gain*. *Exerc Sport Sci Rev*. 2008; 36(2): 58-63
- (2) Puype et al. *Sprint interval training in hypoxia stimulates glycolytic enzyme activity*. *Med Sci Sports Exerc*. 2013; 45(11):2166-2174
- (3) Faiss et al. *Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia*. *PLoS One*. 2013; 8(2):e56522

Galen Rupp, Mo Farah et Dathan Ritzenhein, tous les chemins mènent à Font-Romeu.

Voilà les conclusions de cette première expérience. Mais, vous le savez, en science, on aime tester et re-tester les études pour confirmer ou infirmer leurs résultats. Et si les tests se font de manière indépendante, par des groupes de recherches différents, c'est encore mieux. Dans le cas précis, un groupe de chercheurs suisses s'est attelé à la tâche de vérification (3). Utilisant un protocole d'entraînement et d'hypoxie similaire à la première étude, ils ont obtenu eux aussi une augmentation plus marquée de l'activité

Le triathlète danois Jimmy Johnsen prépare ses Ironmen à grandes vitesses

